

TP de Physique n°8 : Spectroscopie

Introduction : La spectroscopie :

La spectroscopie est l'analyse de la lumière (le plus souvent visible, UV ou Infra-Rouge), et plus précisément la détermination des différentes longueurs d'ondes qui composent une lumière, et de leurs intensités relatives.

Ses débuts remontent aux expériences d'optique d'Isaac Newton (entre 1666 et 1672) sur la décomposition de la lumière solaire (c'est d'ailleurs à lui que l'on doit le terme de « spectre » pour désigner la décomposition d'une lumière en ses radiations monochromatiques).

La spectroscopie est un domaine essentiel de la physique et de la chimie car l'étude de la lumière (émise ou absorbée) est souvent le meilleur moyen (voire le seul moyen) d'avoir des informations sur la matière, à l'échelle des atomes et des molécules. Ainsi, c'est en étudiant la lumière émise par un atome (spectre d'émission) que l'on peut connaître ses différents niveaux d'énergie et donc sa structure électronique. La spectroscopie a donc été essentielle aux débuts de la physique quantique.

En astrophysique, c'est en étudiant la lumière qui nous vient des étoiles ou des planètes que l'on en déduit leur composition chimique. Ainsi le spectre d'absorption du soleil nous renseigne sur la composition de ses couches externes, ainsi que sur celle de l'atmosphère terrestre.

Pour faire de la spectroscopie, on a besoin :

- d'un dispositif optique dispersif : il peut s'agir d'un prisme (qui fonctionne grâce à la réfraction, en utilisant le fait que l'indice du verre dépend de la longueur d'onde), ou d'un réseau (qui fonctionne grâce à la diffraction et aux interférences)

- d'un dispositif précis de mesures d'angles : on utilisera un goniomètre muni d'un vernier.

Objectifs :

L'objectif de ce TP est d'apprendre à faire des mesures de longueurs d'ondes les plus précises possible, en utilisant du matériel de précision.

Votre tâche sera de cataloguer les raies spectrales visibles du mercure (Hg) en donnant précisément leur longueur d'onde et une indication qualitative sur leur intensité.

Vos données seront comparées à celle du « National Institute of Standards and Technology » (NIST), organisme américain en charge de réaliser et publier les mesures les plus précises de toutes les grandeurs physico-chimiques d'intérêt pour la recherche scientifique et la technologie (nous disposons d'un « handbook » au lycée qui compile toutes ces données, dans lequel apparaissent une trentaine de raies pour le mercure dans le visible, dont les longueurs d'onde sont mesurées au picomètre près).

Pour récompenser les expérimentateurs les plus précis et rigoureux, chaque élève du groupe qui aura catalogué le plus de raies avec le plus de précision aura un point de plus au dernier DS de physique.

I Rappel : réglage du goniomètre :

On rappelle l'ordre des différents réglages :

1 – Réglage de la lunette autocollimatrice :

- Allumer la petite ampoule (pour les goniomètres gris, c'est automatique) et faire basculer la lame semi-réfléchissante pour que le réticule soit bien éclairé.

- Régler l'oculaire de façon à voir le réticule net sans avoir à accommoder (fixez un objet lointain puis regarder dans la lunette : le réticule doit être net instantanément).

- Réglez l'objectif de la lunette par autocollimation : plaquez le miroir plan au bout de l'objectif et réglez la molette de l'objectif de façon à voir le réticule et sa réflexion nets en même temps.

Quand la lunette est réglée, n'oubliez pas de rebasculer la lame semi-réfléchissante pour ne pas qu'elle cause de réflexions parasites lors des mesures.

2 – Réglage du collimateur :

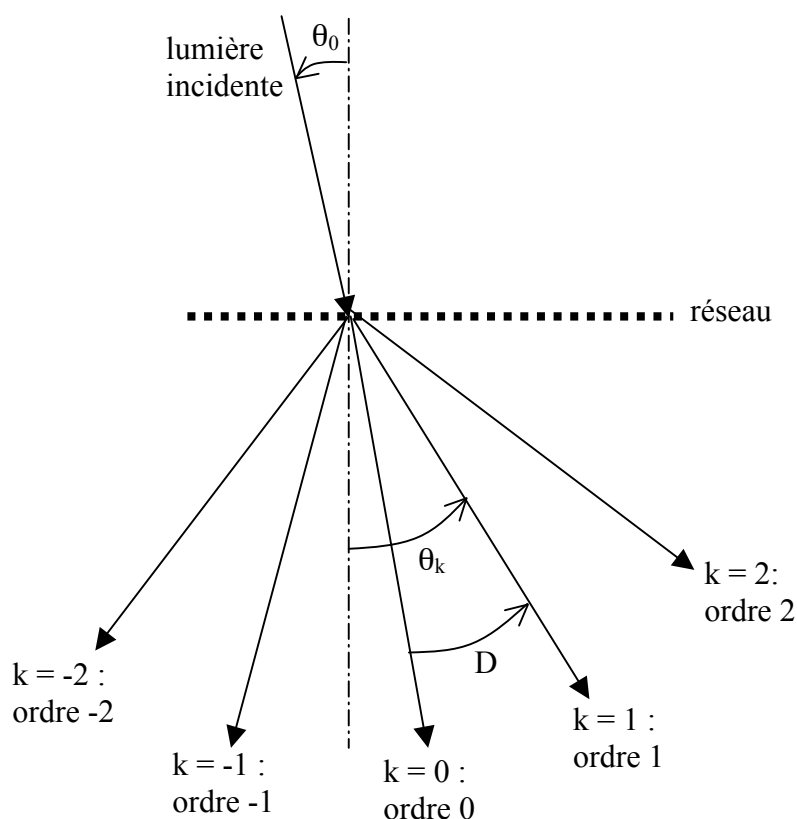
- Eclairez la fente du collimateur (par exemple avec la lampe de bureau) et observez-la à travers la lunette. Réglez la molette du collimateur de façon à ce que la fente apparaisse nette à travers la lunette. Réduisez ensuite la largeur de la fente de façon à ce qu'elle soit à peine ouverte. Faites en sorte que la fente soit bien verticale, ainsi que le réticule de la lunette.

A partir de maintenant, ne touchez plus à ces réglages (s'ils ont été bien faits). La seule chose que vous pouvez toucher est le réglage de l'oculaire de la lunette, que vous pouvez adapter à votre vue (si tous les membres du groupe n'ont pas la même vue).

II Rappels sur le réseau et minimum de déviation :

1) Rappel : formule du réseau :

Le système dispersif que l'on va utiliser est un réseau en verre comportant 600 traits par mm (on peut facilement en déduire son « pas » a , qui est la distance entre deux traits). On va l'utiliser en transmission, c'est à dire que l'on va étudier la lumière qui traverse le réseau. On rappelle la formule qui régit un tel réseau :



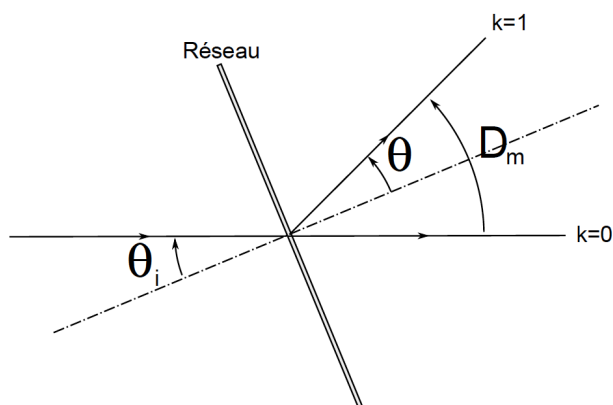
A l'ordre k , on a : $\sin(\theta_k) - \sin(\theta_0) = k \frac{\lambda}{a}$

2) Minimum de déviation :

L'angle D qui apparaît sur le schéma ci-dessus est la déviation du faisceau à l'ordre k : $D = \theta_k - \theta_0$ (la déviation est bien sûr nulle à l'ordre zéro).

Pour un ordre k donné et pour une longueur d'onde λ donnée, on peut faire varier la déviation en faisant varier l'angle d'incidence θ_0 .

On peut montrer que lorsque la déviation D est minimale (on notera D_{\min} la valeur du minimum de déviation), on a $\theta_k = -\theta_0$: le rayon incident et le rayon diffracté sont symétriques par rapport au plan du réseau (voir figure ci-après).



On a alors $D_{\min} = \theta_k - \theta_0 = 2\theta_k$, donc $\theta_k = D_{\min}/2$ et $\theta_0 = -\theta_k = -D_{\min}/2$.

Et la formule du réseau devient donc, au minimum de déviation de l'ordre k :
$$2 \sin\left(\frac{D_{\min}}{2}\right) = k \frac{\lambda}{a}$$

C'est cette formule que vous utiliserez pour déterminer la longueur d'onde λ d'une raie.

Observation du minimum de déviation :

Observez une raie spectrale bien lumineuse à travers la lunette, et faites tourner le plateau sur lequel est posé le réseau (ce qui aura pour effet de faire varier l'angle d'incidence). Remarquez que lorsqu'on tourne le plateau, la raie se rapproche du faisceau incident puis « rebrousse chemin » : la position de la raie la plus proche du faisceau incident (c'est à dire juste à l'endroit où elle commence à rebrousser chemin) correspond au minimum de déviation. C'est cette position qu'il va falloir repérer.

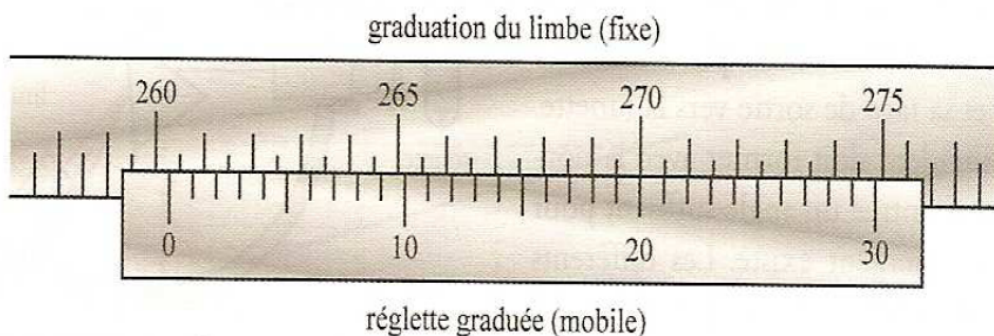
3) Lecture des angles à l'aide d'un vernier :

Les mesures de spectroscopie doivent être très précises et nécessitent de lire les angles à la minute d'arc près (une minute d'arc se note ' et correspond à un soixantième de degré). Pour de telles mesures, on utilise un vernier, dont le principe est expliqué ci-dessous :

Lecture d'un angle sur le goniomètre

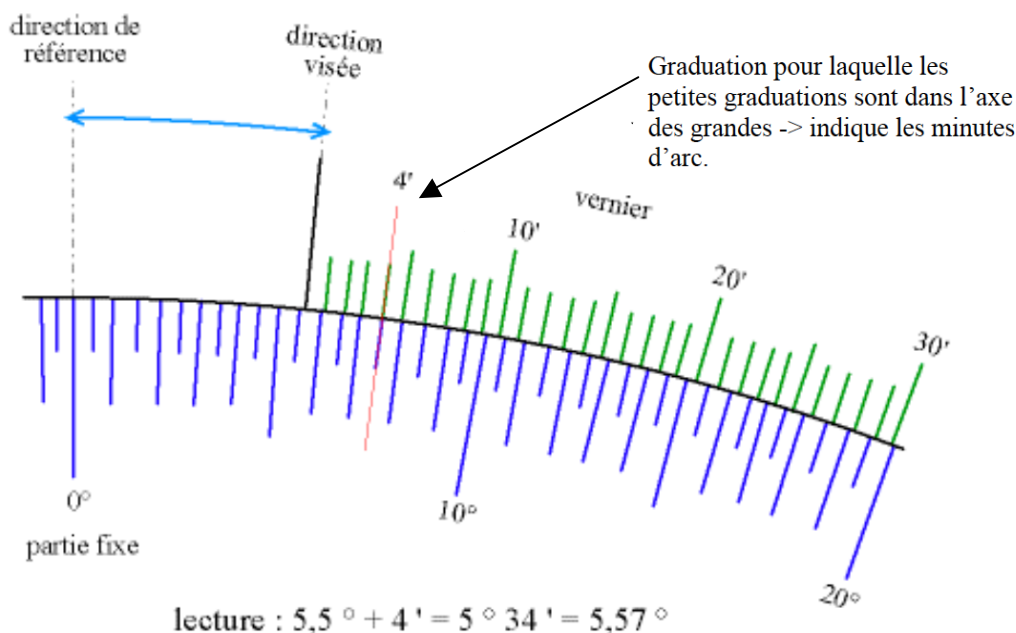
Un vernier permet une mesure angulaire avec une précision d'une minute d'angle. L'angle à mesurer est la somme :

- de l'angle, défini à trente minutes près, indiqué par le limbe en face du zéro de la réglette mobile,
- et de l'angle, compris entre 0 et 30 min, donné par la réglette mobile au point où sa graduation est superposée à celle du limbe.



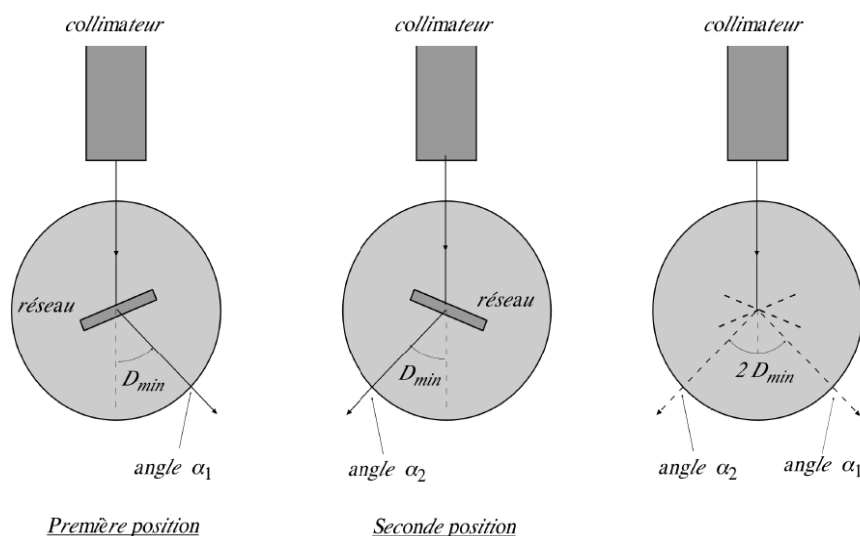
Sur l'exemple précédent, le zéro de la réglette correspond à un angle de $260^{\circ}00'$. Les graduations du limbe et de la réglette sont alignées pour $19'$, ce qui conduit à un angle de $260^{\circ}19'$.

Autre exemple :



Remarque : Les goniomètres gris ont un dispositif permettant de lire plus facilement les angles, mais vous devez tout de même être capables d'utiliser un vernier !

4) Mesure précise de D_{\min} :



Pour mesurer D_{\min} le plus précisément possible, on procèdera comme sur le schéma ci-dessus : on mesurera l'angle α_1 correspondant au minimum de déviation « à droite », puis l'angle α_2 correspondant au minimum de déviation « à gauche », et on en déduira :

$$D_{\min} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1|}{2}.$$

III Résultats :

A vous de jouer maintenant : mesurez le plus précisément possible le plus grand nombre de raies d'émission du mercure.

Vous donnerez, pour chaque raie, sa couleur apparente, une indication qualitative sur son intensité (par exemple sur une échelle de 1 à 5) et sa longueur d'onde avec l'incertitude-type associée.

Vous pouvez faire les calculs sur un ordinateur (Excel...) et quand vous aurez terminé vous reporterez les valeurs dans le tableau-réponse, que vous me rendrez. Au dos de la feuille, vous expliquerez vos calculs pour une des raies, en expliquant notamment comment vous avez évalué l'incertitude (vous pouvez faire une évaluation de type A ou de type B).

Raies spectrales du mercure (domaine du visible seulement)

Couleur	Intensité	D_{min}	Longueur d'onde	Incertitude u(λ)

Noms des membres du groupe :

Calcul détaillé pour une des valeurs (y compris l'évaluation de l'incertitude) :

Annexe : Extrait de la table « officielle » du N.I.S.T. (National Institute of Standards and Technology) :